

*Genese et evolution structurale du bassin
permien de Lodève
(Hérault-France)*

M. SAINT MARTIN

*Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier II, Pl. Eugène
Bataillon, Laboratoire de Géologie Structurale, U.R.A. 1371 associée du
C.N.R.S., 34095 Montpellier CEDEX 5. France*

ABSTRACT

Along the southern border of the french «Massif Central», the Lodève uraniferous Permian basin is filled by a 3000 m thick sequence dated with palynological methods from upper Autunian to upper Thuringian. For the last twenty years, numerous studies on the field («Les Mares» and «Rabejac» open pits, drillcores, «Mas Lavayre» underground mine) and in laboratories (petrological, mineralogical, geochemical and geochronological studies) have been made to understand better the tectonic evolution of the basin which is closely related to the genesis of uraniferous mineralisation, mined by COGEMA. This paper synthesizes these studies which showed a polyphased tectonic evolution (Autuno-Saxonian and Mesozoic extensive phases, Eocene compressive phase and Oligo-Miocene extensive phase). Recent studies along the southern border of the basin and a computer modelisation constrained by field observations allow us to propose a genetic model of a basin bounded by a listric normal fault. Although the succession of tectonic events in this area is now well known, the origin of uranium emplacement as well as the influence of tectonics on mobilisation phases are still doubtful.

Key words: «Massif Central», «Hérault, France», Stephanian, Permian, Autunian, Saxonian, Thuringian, extension, compression, subsidence, subsidence rate, stress tensor, stress field, joint, normal fault, reverse fault, strike-slip fault, bedding-plane slip fault, listric fault, ridge, graben, hydrothermalism, diagenesis, uranium, ore.

RESUMEN

La cuenca pérmica de «Lodève» ubicada en el límite sur del Macizo Central francés contiene 3000 m de sedimentos, de edad Autuniense a Thuringiense. Durante los últimos veinte años, numerosos estudios sobre el terreno han sido efectuados en las minas a cielo abierto en «les Mares» y en «Rabejac», en muestras de sondeo, en trabajos mineros subterráneos en «Mas Lavayre» y en varios afloramientos. Simultáneamente se han realizado estudios de laboratorio sobre petrología, mineralogía, geoquímica y geocronología. Estos estudios han permitido comprender mejor la evolución tectónica ligada a la génesis de las mineralizaciones uraníferas actualmente explotadas por la COGEMA. Este informe constituye una síntesis de diferentes trabajos que han demostrado que la evolución tectónica presenta diferentes fases: la distensión Autuno-Saxoniense, la distensión Mesozoica, la compresión Pirenaica y la distensión Oligo-Miocena. Por otra parte, estudios recientes llevados a cabo en el borde sur de la cuenca, así como una modelización por computadora, basada en los datos de campo, permiten proponer un modelo de génesis de la cuenca sobre una falla normal lítrica. La sucesión de los acontecimientos tectónicos es ahora mejor conocida, pero la historia del uranio es aun incierta en lo que se refiere a su origen y a la influencia de la tectónica sobre las fases de removilización.

Palabras Clave: «Massif Central», «Hérault, France», Estephaniense, Pérmico, Autuniense, Saxoniense, Thuringiense, distensión, compresión, subsidencia, tasa de subsidencia, tensor, tensor de esfuerzos, génesis, diaclasas, falla normal, falla inversa, falla de desplazamiento lateral, falla lítrica, movimiento entre capas, graben, hidrotermalismo, uranio, yacimiento.

RESUME

Situé sur la bordure sud du Massif Central français, le bassin permien de Lodève renferme 3000 mètres de sédiments datés de l'Autunien au Thuringien. Depuis une vingtaine d'années, de nombreuses études de terrain (mines à ciel ouvert des Mares et de Rabejac, carottes de sondages, travaux miniers souterrains de Mas Lavayre, divers affleurements) et de laboratoire (pétrologie, minéralogie, géochimie, géochronologie) ont été effectuées pour mieux en comprendre l'évolution tectonique étroitement associée à la genèse des minéralisations uranifères exploitées actuellement par la COGEMA. Cet article constitue une synthèse de ces différents travaux qui ont mis en évidence une évolution tectonique pluriphasée (la distension autuno-saxoniennne, la distension mésozoïque, la compression pyrénéenne et la distension

oligo-miocène). D'autre part, de récentes études menées sur la bordure sud du bassin ainsi qu'une modélisation informatique contrainte par les données de terrain, permettent de proposer pour ce bassin un modèle de genèse sur faille normale listrique. Si la succession des événements tectoniques est maintenant mieux connue, l'histoire de l'uranium laisse apparaître quelques incertitudes quant à son origine et à l'influence exacte de la tectonique sur les phases de remobilisations.

Mots clés: Massif Central, Hérault (France), Stéphaniens, Permien, Autunien, Saxonien, Thuringien, distension, compression, subsidence, taux de subsidence, tenseur, contrainte, état de contrainte, hydrothermalisme, diagenèse, diaclasses, failles normales, failles inverses, décrochement, glissement couche à couche, faille listrique, ride, demi graben, uranium, minéralisation.

INTRODUCTION

L'intérêt croissant pour l'étude des mécanismes de déformations des bassins post orogéniques nous a conduit à entreprendre une série de travaux sur le bassin permien de Lodève. Ces études ont été effectuées dans le cadre d'une étroite collaboration avec la Compagnie Générale des Matières Nucléaires (COGEMA)-Division Minière de l'Hérault, pour mieux comprendre l'évolution tectonique du bassin et la genèse des minéralisations uranifères qui lui sont étroitement liées.

Ces travaux ont été menés, tant sur le plan de la recherche fondamentale que sur celui de la recherche appliquée, et ceci à diverses échelles ainsi que sur différents supports (tableau I):

- la mine à ciel ouvert des Mares (Genna 1985)
- divers affleurements (Santouil 1980, David 1985, Lopez 1987, Rives 1988)
- des carottes de sondages (Genna 1988, Saint Martin 1987;1989;1990)
- les travaux miniers souterrains de la mine de Mas Lavayre (Staffelbach *et al.*, 1987, Horrenberger et Ruhland 1981).

Un essai de synthèse est proposé dans cet article.

LE BASSIN PERMIEN DE LODEVE

Situé sur la bordure sud du Massif Central français (Planche I, fig.1), le bassin permien de Lodève renferme près de 3000 mètres de sédiments (Laversanne 1976, 1978; Odin 1986). L'uranium exprimé essentiellement sous forme de pechblende et

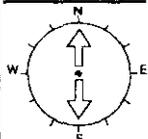
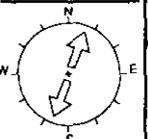
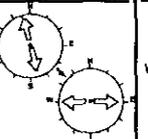
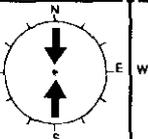
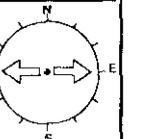
AGE AUTEUR	PERMIEN		MESOZOIQUE	PYRENEEN	OLIGO-MIOCENE
	AUTUNNIEN SAXONNIEN	THURINGIEN			
M. RUHLAND et al 1977	- Compaction basculement - Failles normales N.080° à N.110° - Extension NS de l'ordre de 4% et raccourcissement EW				
G. SANTOUIL 1980 (affleurements)	DISTENSION Nord-Sud - Dépôt - Failles	DISTENSION Nord-Sud à N.020° - Diaclases N.020°, N.090° et N.160° - Compaction - Basculement	DISTENSION Nord-Sud puis N.150° puis N.060° - Diaclases N.050°, N.110° et N.020°	COMPRESSION Nord-Sud	DISTENSION N.110° - Remplissage des diaclases par de la barytine
H. BLACHERE et al. 1984	- Failles normales N.080° à N.110° Failles hydroplastiques Extension NS (Taux = 17,98%)	Failles fragiles Extension NS (Taux = 5,83%)		COMPRESSION Nord-Sud - Réactivation des discontinuités (Taux = -8,17%)	
A. GENNA 1985 (M.C.O. Les Mares)	DISTENSION N.165° - Failles normales Est-Ouest - Décrochements Nord-Sud		DISTENSION N.165° - Failles normales N.030° à N.100° - Glissements banc sur banc en failles normales	COMPRESSION N.150° et N.015° - Failles inverses N.030° à N.080° - Décrochements N.130° à N.170°	DISTENSION E.W. - Décrochements N.040° à N.060° - Failles normales dextres Nord-Sud
M. LOPEZ 1987 (affleurements)	- Filons péltiques	DISTENSION Nord-Sud et Est-Ouest - Fentes fibreuses rectilignes N.020° et N.100° - Fentes spiriques sigmoïdes N.110°		COMPRESSION Nord-Sud - Fentes barytiques sur décrochantes N.020° et N.095°	
A. GENNA 1988 (Sondage)		DISTENSION N.160° - Glissements banc sur banc en failles normales - Failles normales Est-Ouest	DISTENSION Est-Ouest - Glissements banc sur banc en failles normales décrochantes - Failles normales N.150° à N.180°	COMPRESSION N.010° et N.075° - Glissements banc sur banc en failles inverses et décrochements - Failles inverses Est-Ouest	DISTENSION Est-Ouest - Glissements banc sur banc en décrochements - Failles normales N.150° à N.180°
J.L. BALMELLE 1989 (simulation informatique)	- Subsidence thermique - Dépôt lacustre	Hypothèse : - formation du demi graben par rejeu de la faille Sud en faille listrique - dépôt d'une série en éventail			
M. SAINT MARTIN 1989 (Sondage)	- Compaction - Diaclases N.030° et N.110°	DISTENSION N.032° - Basculement - Fentes de calcite N.030° et N.110° - Glissements banc sur banc en failles normales - Failles normales Est-Ouest	DISTENSION - Fentes de gypse N.030° et N.110°, interstratifiées et bréchiques en "ouverture- basculement"	COMPRESSION N.015° - Glissements banc sur banc en failles inverses - Failles inverses N.100° - Décrochements Nord-Sud	DISTENSION N.110° - Fentes de calcite N.020° - Décrochements normaux N.145° - Failles normales N.030°
M. SAINT MARTIN 1987-1990 (Sondages)	DISTENSION N.155° DISTENSION N.161° - Failles normales Est-Ouest - Décrochements normaux dextres N.020° - Glissements banc sur banc en failles normales			COMPRESSION N.183° et N.174° - Glissements banc sur banc en failles inverses - Décrochements Nord-Sud	
→ σ_1 ⇨ σ_3					

TABLEAU I : Phases tectoniques reconnues sur le bassin de Lodève

de coffinite est contenu dans la tranche inférieure d'âge autunien et saxonien. Il est extrait depuis 1975 par la Compagnie Générale des Matières Nucléaires (COGEMA)-Division Minière de l'Hérault.

Le bassin se présente sous la forme d'un demi-graben, à couches pentées d'environ 15° vers le Sud et il occupe une superficie de 250 km².

À l'Autunien moyen, sous un climat tropical à saisons contrastées, la sédimentation débute par des formations fluvio-lacustres à deltaïques, qui se déposent en discordance:

- dans la partie Nord du bassin sur la ride de Lodève, socle anté Stéphanien creusé de vallées fluviales de directions subméridiennes
- au Sud sur des formations d'âge Stéphanien recoupées en sondages ou visibles à l'affleurement à l'Ouest du bassin.

Au Saxonien et au Thuringien, la sédimentation évolue vers des climats de plus en plus secs, de dépôts lacustres à des dépôts playa semi arides.

La série sédimentaire repose donc en discordance:

- au Nord sur la ride de Lodève
- à l'Ouest sur les dépôts stéphaniens du bassin de Graissessac.

Ses autres limites, de nature tectonique, sont, à l'Est et au Sud la faille des Cévennes, et au Sud-Ouest la faille de la Tour-sur-Orb.

Au Sud du bassin, le Trias repose en discordance sur les dépôts permien.

Ces dépôts (planche I, fig. 2) sont classiquement subdivisés (Laversanne 1976, Odin 1986) en trois sous-ensembles qui sont:

- Le Permien gris d'une puissance de 160 à 240 mètres attribué à l'Autunien supérieur (Odin 1986, Doubinger, Odin et Conrad 1987).
- Le Permien gris et rouge d'une puissance de 200 mètres d'âge Saxonien (Odin 1986, Doubinger, *et al.*, 1987).
- Le Permien rouge de plus de 2000 mètres d'épaisseur daté du Thuringien (Odin 1986, Doubinger *et al.*, 1987).

Les 360 à 440 premiers mètres de base (Permien gris et Permien gris et rouge) montrent une certaine rythmicité de la sédimentation (Laversanne 1976) marquée par des niveaux de grès gris, surmontés par des «faciès couches», c'est à dire une succession de lits très fins grés-carbonatés et/ou argilo-carbonatés riches en matière organique, recouverts de lutites argileuses. Le Permien rouge est quant à lui caractérisé par une sédimentation très monotone composée d'alternances de grés et de lutites argileuses.

Le remplissage de ce bassin contient les marques d'une activité volcanique importante révélées par la présence de niveaux cinéritiques de 5 à 50 centimètres

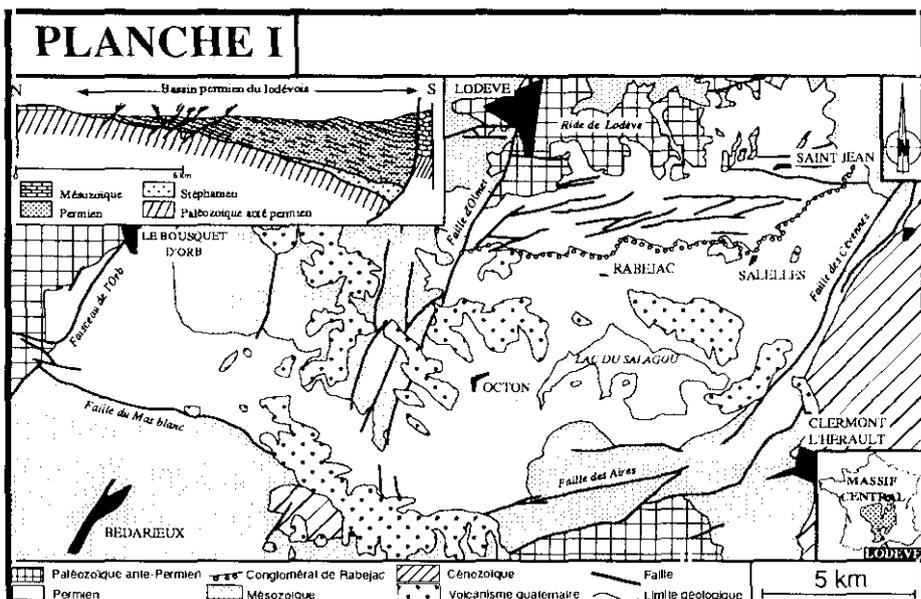


Fig. 1. - Localisation géographique et schéma structural du bassin de Lodève.

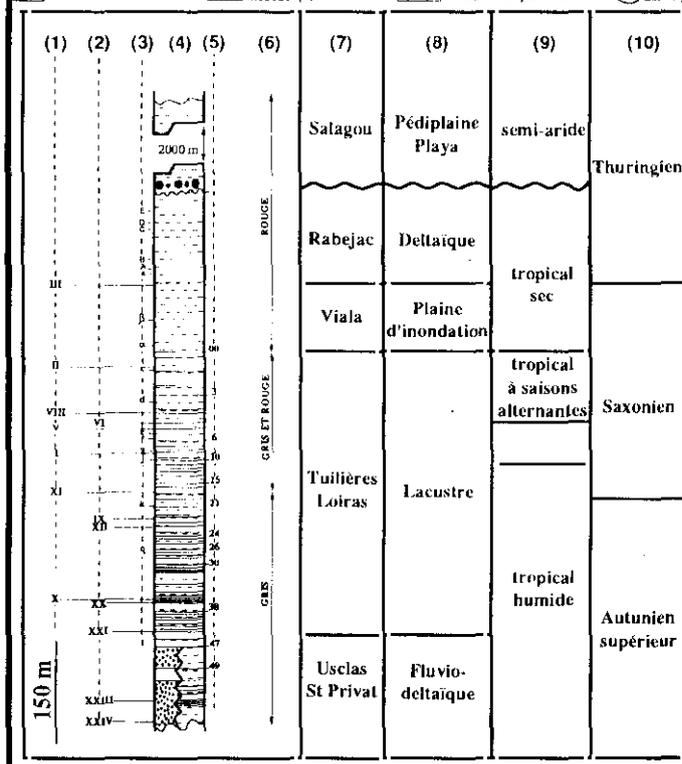


Fig. 2. - Log synthétique du bassin permien de Lodève: (1) cinérites: repères majeurs; (2) cinérites: autres repères; (3) horizons et "couches": repères accessoires; (4) coupe lithologique synthétique; (5) couches riches en matière organique (= faciès couche); (6) couleur des formations sédimentaires; (7) nom de la formation; (8) environnement sédimentaire de dépôt; (9) climat de dépôt; (10) stratigraphie.

d'épaisseur à la base de la série et d'échardes volcaniques dans le Permien rouge (Nmila *et al.*, 1989).

Les «faciès couches» et les cinérites constituent de remarquables niveaux repères et des surfaces temps qui permettent sur le terrain, en carottes et sur diagraphies, d'établir des corrélations à l'échelle du bassin.

La matière organique, déposée en milieu lacustre, contenue dans ces «faciès couches» est d'origine mixte. Elle est issue en grande partie d'organismes planctoniques et alguaire, et, en faible proportion de matériel d'origine détritique constitué par des végétaux supérieurs (troncs et débris de *Walchia*). Elle se présente sous forme, soit de kérobites stratifiés, soit de bitumes migrés en remplissage de fractures (Mathis, Robert et Saint Martin, 1990).

La configuration actuelle en demi-graben du bassin, acquise avant le dépôt du Trias, est le résultat d'une succession de phases tectoniques exprimées à l'affleurement par deux familles principales d'accidents (Planche I, fig. 1):

- des failles normales Est-Ouest
- des failles normales Est Nord Est-Ouest Sud Ouest

Dans la partie sud du bassin, des failles inverses de direction Est-Ouest affectant les dépôts permien et triasiques, ont également été décrites (Santouil 1980).

Au cours de toutes les phases tectoniques qu'elles soient compressives ou distensives, les joints de stratification ont fréquemment joué en plans de glissement («couche à couche») favorisés par la présence de «faciès couches» bitumineux (Ruhland *et al.*, 1977).

LES MINERALISATIONS URANIFERES

Dans l'Autunien et le Saxonien, elles se présentent sous quatre types morphologiques différents qui sont (Comte, Blachère et Varlet 1984, Mathis *et al.*, 1990):

Lámina I: Fig. 1.—Localización geográfica y esquema estructural de la Cuenca de «Lodève».

Fig. 1.—Geographical location and structural sketch map of the Lodève Basin.

Fig. 2.—Log sintético de la Cuenca Pérmica de «Lodève»: (1) cineritas: bandas de referencia presentes a lo largo de toda la cuenca; (2) cineritas (otras bandas); (3) horizonte y bandas de referencia accesorias; (4) corte litológico sintético; (5) bandas ricas en materia orgánica; (6) colores de las formaciones sedimentarias; (7) nombre de la formación; (8) ambiente sedimentario de depósito; (9) clima de depósito; (10) estratigrafía.

Fig. 2.—Synthetic log of Lodève Permian Basin: (1) cinerites: main key beds; (2) cinerites: other key beds; (3) horizons and layers: secondary key beds; (4) lithological synthetic log; (5) layers enriched in organic matter («layered facias»); (6) colour of sedimentary formations; (7) formation names; (8) depositional environment; (9) depositional climatic condition; (10) stratigraphy.

— «*stratiforme*», contenues dans des faciès riches en matière organique, d'une puissance de 1 à quelques mètres.

— «*en lanières*», à l'intersection de structures tectoniques et d'horizons stratigraphiques favorables. Elles sont généralement allongées le long de failles et présentent de faibles extensions latérales.

— «*en amas*», par imprégnation d'une brèche tectonique dont la puissance peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

— «*pseudo filonienne*» le long de fractures mineures à proximité du contact substratum hercynien-dépôts permien.

L'exploitation récente d'un nouveau gisement situé dans le Thuringien (gisement de Rabejac) a permis de mettre en évidence un nouveau type de minéralisation filonienne, de direction N 120°. Cet uranium s'est concentré le long de fractures mineures, dans des niveaux à caractère gréseux après une remobilisation par des fluides hydrothermaux envahissant des faciès réduits bordés de failles normales N 100° à N 110°. Cette minéralisation a été rattachée à un type «*filonien hydrothermal*» par les géologues de COGEMA (communication orale).

Sur l'origine de l'uranium, trois hypothèses sont émises:

— syngénétique, par démantèlement des granites du Massif Central (Capus 1979, Landais et Connan 1980). Des analyses géochimiques faites sur les pechblendes du gisement de Rabejac (Lancelot et Vella 1989) ont montré une composition isotopique en plomb initial incorporé symptomatique d'une préconcentration permienne syngénétique à diagénétique précoce. Cette hypothèse n'explique cependant pas pourquoi seul le bassin de Lodève a bénéficié de ces apports et leur richesse en carbonates.

— profonde (Comte *et al.*, 1983) liée à l'activité hydrothermale guidée par les failles majeures du socle à des températures allant de 180°C. à 250°C. (Mendez Santizo 1986).

— volcanique acide de type ignimbritique soulignée par la présence de cinérites et d'échardes volcaniques dans toute la série sédimentaire. Cette hypothèse expliquerait bien la puissance exceptionnelle des dépôts permien et leur finesse d'une part, et, d'autre part l'abondance de molybdène et de zirconium (Mathis *et al.*, 1990; Nmila *et al.*, 1989).

Il est vraisemblable que les gisements découverts puissent être la résultante de plusieurs facteurs, notamment le volcanisme pour l'origine de l'uranium et l'hydrothermalisme pour sa remobilisation et sa reconcentration comme en témoignent les études faites dans les laboratoires de géochimie isotopique (Lancelot et Vella, 1989; Vella, 1989), de géochimie comparée et systématique (Nmila *et al.*, 1989), de pétrographie et de minéralogie de COGEMA.

LA DISTENSION PERMIENNE

Dès 1977, l'hypothèse d'une faille listrique pour expliquer la genèse du bassin de Lodève avait été émise par Arthaud, Mégard et Séguret (1977) qui expliquaient son ouverture longitudinale par activation d'une faille normale tendant à s'horizontaliser en profondeur avec écartement en surface et translation horizontale en profondeur.

Ces mouvements sont guidés par de grands accidents tardi hercyniens N 010° à N 020° que sont la Faille des Cévennes, la Faille d'Olmet et le faisceau des failles de l'Orb.

En 1989, Echtler émet une nouvelle hypothèse de travail et décrit la bordure Nord de la zone axiale de la Montagne Noire comme étant un chevauchement d'âge hercynien ayant eu un rejeu postérieur en faille normale (Echtler, 1989; Echtler et Malavieille, 1990). Suite à cette hypothèse, une simulation informatique de genèse du bassin récemment faite par Balmelle (1989) à partir d'un programme élaboré par Faure (1990), contrainte par les données de terrain (point d'inflexion au Nord du bassin, failles normales au Nord du bassin et valeurs des pendages) a permis d'envisager l'évolution tectonique en deux stades:

- une phase de subsidence autuno-saxonnienne (Planche II, fig. 1) avec dépôt d'une série à dominante lacustre (subsidence qui suit la formation des bassins stéphaniens).

- une phase thuringienne (Planche II, fig 2) avec formation du demi graben par rejeu normal de la faille Sud et dépôt d'une série en éventail. La géométrie la plus probable de cette faille serait celle d'une faille listrique faisant un angle de 70° en surface et passant progressivement à l'horizontale vers 5 km de profondeur.

Cette ouverture en distension, dont le taux a été estimé à 17,98% (Blachère et al, 1984), de direction subméridienne (Santouil, 1980; Ruhland *et al.*, 1977; Saint Martin, 1987) est caractérisée par:

- des failles molles subverticales, normales, à rejet centimétrique. Leur direction est N 080° à N 130° à effondrement nord ou sud, et, nord-sud à N 030° à effondrement est ou ouest.

- des filons pélitiques plissés lors de la compaction et sans direction préférentielle d'ouverture (Santouil 1980, Lopez 1987).

Pendant et après le dépôt de ces formations, les différentes phases de diagenèse se déroulent. Ce sont, de la plus ancienne à la plus récente:

- néoformation de quartz et de feldspath datée à 248 ± 8 Ma (méthode K- Ar sur feldspath potassique, Odin 1986; Conrad, Montigny et Odin, 1986)

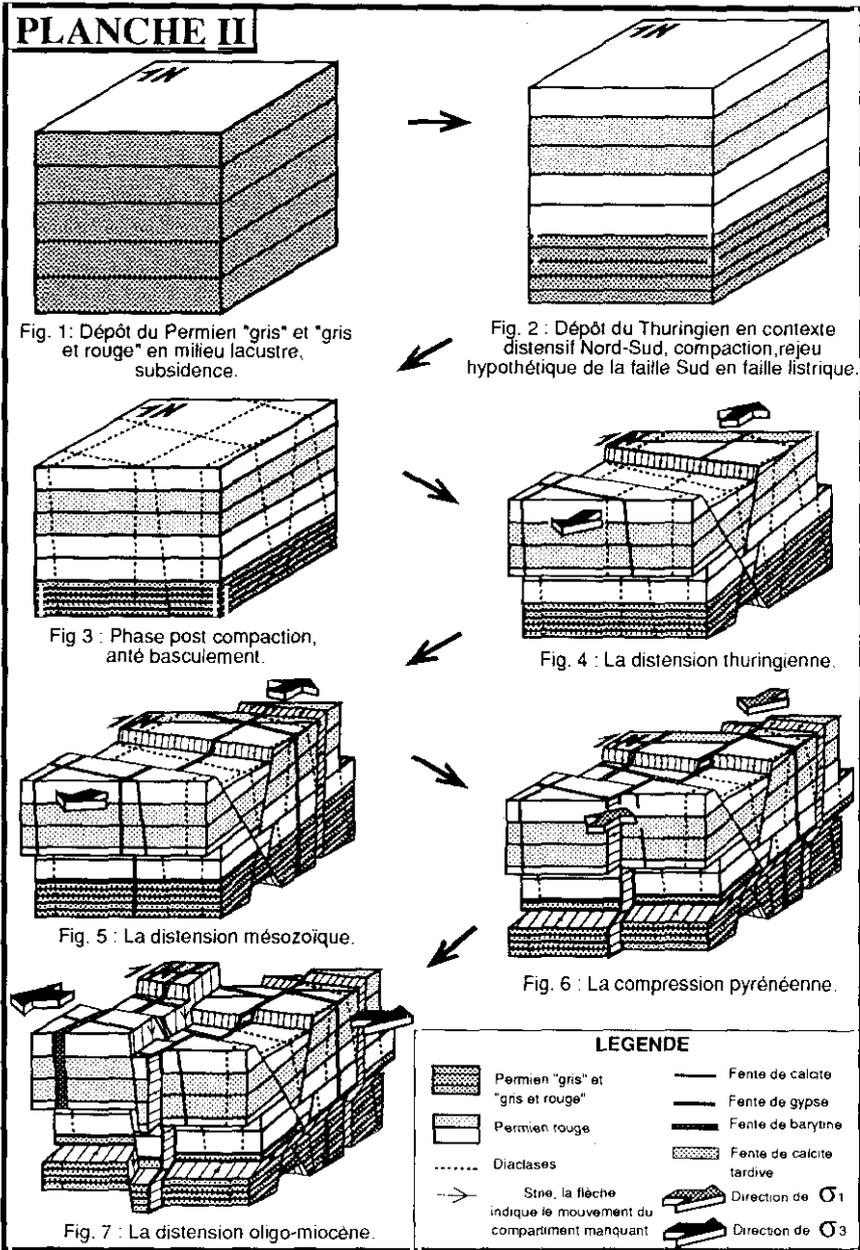


Planche II : Déformation théorique des roches dans le bassin permien de Lodève

Lámina II: Deformación teórica de las rocas pérmicas de la Cuenca de «Lodève».

Plate II: Theoretical deformation of rocks in the Lodève Permian Basin.

- dolomitisation
- chloritisation
- illitisation

Puis, un réseau de diaclases (Planche II, fig. 3) se développe sur l'ensemble du bassin lors d'une phase post compactionnelle (Rives, 1988; Saint Martin, 1987, 1989).

Leur étude (Rives, 1988) a montré que ces fractures, particulières du fait qu'elles ne présentent aucun mouvement cisailant, se rencontrent à l'affleurement sous deux directions différentes, une systématique nord-sud à N 020° et une autre de direction N 080° à N 120°.

La deuxième génération a tendance à devenir perpendiculaire aux premières directions à leur approche.

Ces discontinuités, couplées aux joints de stratification, constituent des structures tectoniques qui seront ensuite réutilisées lors des phases de déformations ultérieures.

LA PHASE ANTE TRIASIQUE

Avant le dépôt du Trias, le basculement de la série stratigraphique du Bassin de Lodève est accentué lors d'une phase distensive tardive de direction moyenne subméridienne (Planche II, fig. 4).

Cette phase tectonique a réactivé d'anciennes structures et elle a généré les accidents les plus visibles sur l'ensemble du bassin sous la forme:

- de failles normales de directions N 070° à N 120° à pendage nord ou sud créant des coins tectoniques (Genna, 1985) qui ont formé des pièges pour les minéralisations uranifères.
- de glissements couche à couche en failles normales
- de failles normales N 010° à N 030° à pendage est ou ouest.

Cette phase est également marquée par la réouverture des plans de diaclases préexistants remplis ensuite par des cristaux de calcite fibreuse (à fibres syntaxiales généralement perpendiculaires aux épontes).

Ces fentes, tout comme les diaclases, s'organisent à l'échelle du bassin suivant deux directions quasiment constantes, contemporaines, N 010° à N 030° et N 095° à N 110°. Localement, un remplissage de calcite drusique témoigne de l'ouverture rapide de ces fentes.

Une manifestation de cette distension est matérialisée par un système de fentes sparitiques sigmoïdes, en échelons, de direction moyenne N 110°, liées à une expulsion de fluides par surcharge lithostatique à l'est du bassin et à sa relaxation tardive lors de la fin de son basculement.

Une estimation du taux d'extension lors de cette phase a été calculée de 5,83% (Blachère *et al.*, 1984).

LE MESOZOIQUE

Cette période est caractérisée, dans le bassin, par un état de contrainte en distension nord-sud qui évolue dans le temps vers une direction N 150° puis N 060° et correspondrait à une phase liasique de prérifting précédant l'ouverture de l'océan liguro-piémontais. Cet épisode a pour conséquence de réactiver les anciennes structures. En effet, lors de la distension nord-sud, les fentes de calcite fibreuse de direction est-ouest jouent en failles normales et la distension N 150° réactive les accidents permien (Planche II, fig. 5).

L'étude récente (Saint Martin, 1989) d'un sondage carotté de 1000 m foré sur la bordure sud du bassin, a montré que cette phase post permienne et ante pyrénéenne est caractérisée par un cortège filonien très important de fentes à remplissage de gypse fibreux groupées en plusieurs familles:

- de direction moyenne N 030 à N 110 d'épaisseur pluricentimétrique
- interstratifiées, d'épaisseur parfois décimétrique
- à fort angle d'ouverture (jusqu'à 10° ou 15°).

Cet épisode tectonique, qui s'est déroulé sous forte pressions de fluides par élévation générale du flux géothermique, est à l'origine de phases de remobilisation des minéralisations uranifères.

Certaines datations géochronologiques peuvent être attribuées à cet épisode:

- K-Ar qui donne un âge de 167 ± 5 Ma sur illites (Bellon, Ellenberger et Maury, 1974) et 173 ± 5 Ma sur feldspaths potassiques (Odin 1986).
- U-Pb qui a révélé un âge de 172 ± 2 Ma par analyse des couches 0 et 00 (De Saint André, 1982) et de 180 ± 4 Ma sur les pechblendes du gisement de Rabejac (Lancelot et Vella 1989, Vella 1989).

D'autres ont fait ressortir une phase de remobilisation d'âge crétacé à 100-120 Ma (Vella 1989).

LA COMPRESSION PYRENEENNE

Toutes les études faites sur le bassin de Lodève ont montré des témoins de la compression pyrénéenne avec des directions de contraintes proches d'un axe nord-

sud (variant de N 030°W à N 030°E) qui se manifestent à l'affleurement par (Planche II, fig. 6):

- des glissements couche à couche en failles inverses
- des décrochements sénestres N 160° à N 180°
- des failles inverses N 030° à N 080°

Cette phase, dont le raccourcissement a été calculé de l'ordre de -8,17% par Blachère *et al.*, (1984), a sans doute eu pour conséquence de réactiver la faille bordière sud du bassin en faille inverse avec probablement une forte composante en décrochement. Associé à cette phase, un cortège de fentes a également été décrit par Santouil (1980) et Lopez (1987), il s'agit de fentes barytiques sur décrochements, fréquemment liées à des décrochements de direction N 020°.

LA PHASE OLIGO-MIOCENE

Peu visible à l'affleurement, elle a été mise en évidence sur le bassin de Lodève par plusieurs études (Genna, 1985, 1988; Saint Martin 1989) grâce aux traitements informatiques des plans de failles striés (Etchécopar, 1984) qui ont fait ressortir un tenseur en distension tardive de direction voisine d'un axe est-ouest (Planche II, Fig. 7).

Cette phase réactive d'anciennes structures, soit en décrochements (failles normales est-ouest permiennes et glissements banc sur banc permien et pyrénéens), soit en failles normales (décrochements pyrénéens nord-sud).

Elle crée également des fentes tardives de calcite de direction N 020°.

CONCLUSION

Cette synthèse qui englobe les travaux effectués depuis plus de vingt ans dans le cadre des recherches sur le Bassin Permien de Lodève montre bien l'étroite liaison entre l'évolution structurale de ce bassin et les minéralisations uranifères qu'il contient.

Cette liaison a été confirmée par les récentes datations qui donnent des phases de remobilisations d'âge liasique et créacé.

Ainsi, grâce aux travaux récents entrepris sur de nouvelles hypothèses de recherche (bassin sur faille normale listrique) et sur de nouveaux supports (carottes de sondages), la succession des événements tectoniques commence à être bien connue (tableau I). Elle est constituée par les étapes suivantes:

- le dépôt du Thuringien en milieu distensif
- la distension ante triasique
- les distension mésozoïques (Lias et Crétacé)
- la compression pyrénéenne
- la distension oligo-miocène.

Ces études ont également permis de mieux connaître l'histoire de l'uranium bien que ses origines ne soient pas établies de façon formelle (démantèlement des granites du Massif Central, apports volcaniques ou hydrothermaux profonds), tout comme le rôle joué par la tectonique sur les phases de remobilisations.

Plusieurs études prévues ces prochaines années, concernant notamment:

- la faille bordière sud du Bassin Permien de Lodève et du Bassin Stéphano-Permien de Graissessac
- les traces de fission
- les datations géochronologiques
- la pétrographie, la métallogénie, etc...

Devraient permettre de résoudre quelques uns des problèmes encore posés par le Bassin Permien de Lodève.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ARTHAUD F., MEGARD F., SEGURET M. (1977): Cadre tectonique de quelques bassins sédimentaires. *Bull. Cent. Rech. Explo. Prod. ELF Aquitaine*, 1, 1, 147-188.
- BALMELLE J. L. (1989): *Géométrie et évolution du bassin permien de Lodève*. D.E.A. Montpellier.
- BELLON H., ELLENBERGER F., MAURY R. (1974): Sur le rajeunissement de l'illite des pélites saxoniennes du bassin de Lodève. *C.R.A.S. Paris*, 278 D, 413-415.
- BLACHEREH., COMTED., DELORMED., HORRENBURGER J. C. (1984): Déformation polyphasée des sédiments permien de Lodève, mise en évidence de la phase de compression pyrénéenne: ses effets sur les structures héritées de la phase de distension permienne. *Sci. Géol., Bull., Strasbourg*, 37, 2, 119-129.
- CAPUS G. (1979): *Matières organiques et minéralisations uranifères, exemples des bassins permo-carbonifères de l'Aumance (Allier) et de Lodève (Hérault)*. Thèse Doct. Ing. Nancy, 384 p.
- COMTED., BLACHEREH., VARLET M. (1984): *Environnement géologique des gisements d'uranium du bassin de Lodève (France)*. Cong. Internat. de Géol. de Moscou, 14 p.
- CONRAD G., MONTIGNY R., ODIN B. (1986): Datation K-Ar des cinérites du Permien inférieur du Bassin de Lodève (Hérault, France). *C.R.A.S. Paris*, t. 302, série II, n° 14, 887-890.

- DAVID L. (1985): Contribution de la tectonique et de la microtectonique cassantes à l'étude d'un bassin caché. Thèse 3^{ème} cycle, Montpellier, 294 p.
- DE SAINT ANDRE B. (1982): *Systématique U-Pb appliquée à la formation et à l'évolution des gisements uranifères : cas de Bokan Mountain (Alaska) et de Lodève (France)*. Thèse de 3^{ème} cycle, Montpellier.
- DOUBINGER J., ODIN B., CONRAD G. (1987): Les associations sporopolliniques du Permien continental du bassin de Lodève (Hérault-France). Caractérisation de l'Autunien supérieur, du Saxonien et du Thuringien. *Ann. Soc. Géol. du Nord*, CVI, 109-109.
- ECHTLER H. (1989): *Les nappes du versant Sud dans l'évolution tectonique varisque de la Montagne Noire (Sud du Massif Central); de l'épaississement crustal à l'extension tardi-orogénique*. Thèse de Doctorat, Montpellier, 227 p.
- ECHTLER H., MALAVIEILLE J. (1990): Extensional tectonics, basement uplift and Stephano-Permian collapse basin in a late variscan metamorphic core complex (Montagne Noire, southern Massif Central). *Tectonophysics*, 177, 125-138
- ETCHECOPAR A. (1984): Etude des états de contraintes en tectonique cassante et simulations de déformations plastiques (approche mathématique). Thèse de doctorat, Montpellier.
- FAURE J. L. (1990): *Failles normales, coupes équilibrées et subsidence dans les bassins en extension. le bassin Viking (Mer du Nord) et le domaine briançonnais (Alpes occidentales) au Jurassique*. Thèse de Doctorat Montpellier, sous presse.
- GENNA A. (1985): *Etude microtectonique dans le Permien de Lodève (Mine à ciel ouvert des Mares sur le site de Saint Martin Du Bosc, Lodève)*. D.E.A. Montpellier, 91 p.
- GENNA A. (1988): *Etude microtectonique des carottes du sondage MERIFONS 3*. Rapport interne COGEMA, 35 p.
- HORRENBERGER J. C., RUHLAND M. (1981): Déformations progressive des sédiments du bassin permien de Lodève (Hérault). Evolution géométrique et cinématique d'un modèle en extension par glissement-basculement. *Sci. Geol. Bull.*, 34, 1, 75-88.
- LANCELOT J. R., VELLA V. (1989): Datation U-Pb liasique de la pechblende de Rabejac. Mise en évidence d'une préconcentration uranifère permienne dans le bassin de Lodève (Hérault). *Bull. Soc. Géol. France*, 8, 2, 309-315.
- LANDAIS P., CONNAN J. (1980): Relations uranium-matière organique dans deux bassins permien français (Lodève Hérault, Céilly Allier). *Bull. Cent. Rech. S.N.E.A.*, (P), 4-2, 709-757.
- LAVERSANNE J. (1976): *Sédimentation et minéralisation uranifère du permien de Lodève (Hérault)*. Thèse de Docteur ingénieur, Orsay, 300 p.
- LAVERSANNE J. (1978): Le permien de Lodève (Massif Central français), évolution des dépôts autuniens et exemples de minéralisations uranifères diagénétiques par circulation de solutions exogènes. *Sci. Terre*, XXII, 147-166.

- LOPEZ M. (1987): *Approche sédimentologique et microtectonique du Permo-Trias du bassin de Lodève*. D.E.A. Montpellier, 123p.
- MATHIS V., ROBERT J. P., SAINT MARTIN J. (1990): Géologie et métallogénie des gisements d'uranium du bassin permien de Lodève (Sud du Massif Central français). *Chroniques Recherche minière* 499, 31-40.
- MENDEZ SANTIZO J. (1986): *Approche géothermique des remplissages de fractures dans le gisement d'uranium de Lodève*. D.E.A. Strasbourg, 38 p.
- NMILA A., CABANIS B., DARDEL J., SAINT MARTIN J., TREUIL M. (1989): Reliques volcaniques dans le remplissage permien du bassin de Lodève, incidences métallogéniques. *C.R.A.S. Paris*, 309, II, 1931-1938.
- ODIN B. (1986): *Les formations permienes, Autunien Supérieur à Thuringien, du bassin de Lodève (Hérault-France)*. Thèse de Doctorat, Univ. Aix-Marseille III, 360 p.
- RIVES T. (1988): *L'interprétation des diaclases, approche expérimentale et application à quelques exemples naturels*. D.E.A. Montpellier, 91p.
- RUHLAND M., HORRENBERGER J. C., LAVERSANNE J., LILLIE F., GAUTHIER-LAFAYE F., HEITZ J. L. (1977): Analyse tectonique du bassin de Lodève, Hérault. Géométrie et cinématique d'une zone en extension. *C. R. Somm. Soc. Géol. Fr.*, fasc. 5, 263-265.
- SAINT MARTIN M. (1987): *Etude microtectonique sur carottes de sondage du permien de Lodève, secteur de Saint Jean de la Blaquièrre*. D.E.A. Montpellier, 71p.
- SAINT MARTIN M. (1989): *Etude microtectonique des carottes du sondage MERIFONS 4*. Rapport interne COGEMA, 57p.
- SAINT MARTIN M. (1990): Détermination de l'évolution structurale des sédiments du bassin permien de Lodève (Hérault-France) par l'étude microtectonique de carottes de sondages. *C.R.A.S. Paris*, t. 311, série II, 705-712.
- SANTOUIL G. (1980): *Tectonique et microtectonique comparée de la distension permienne et de l'évolution post-triasique dans les bassins de Lodève, Saint Affrique et Rodez (France Sud-Est)*. Thèse 3^{ème} cycle, Montpellier, 62 p.
- STAFFELBACH C., MENDEZ SANTIZO J. C., HORRENBERGER J. C., RUHLAND M., WEBER F. (1987): The fracturing of uranium ore deposits of Lodève (France). Mode of formation and filling, in metallogenesis of uranium deposits, *I.A.E.A. Tech. Cong.* 542/10 Vienna, 9-12.
- VELLA V. (1989): *Les chronomètres U-Pb, Rb-Sr, K-Ar appliqués à l'évolution d'un gisement uranifère en milieu sédimentaire: cas du bassin permien de Lodève (Hérault)*. Thèse de Doctorat, Montpellier, 133 p.

Manuscrito recibido: 25 Septiembre 1990

Revisión aceptada: 20 Junio 1991